

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

8

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-212129

(43)Date of publication of application : 03.08.1992

(51)Int.Cl.

G02F 1/35  
G02F 1/31  
H01S 3/18

(21)Application number : 03-026509

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 20.02.1991

(72)Inventor : ISHIKAWA HIDEAKI

(30)Priority

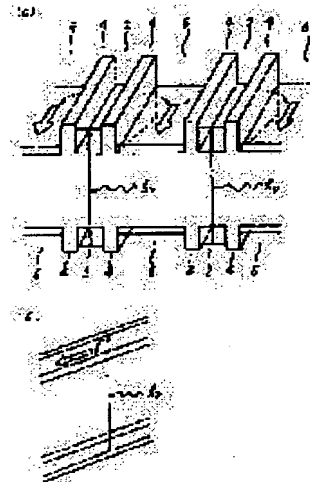
Priority number : 02175846 Priority date : 03.07.1990 Priority country : JP

## (54) OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To allow the early absorption and recovery of light by preventing the stagnation of electrons in quantum wells.

CONSTITUTION: This device has material layers 2 having a 1st forbidden band width and having the thickness at which excitons can exist, material layers 4 having the 2nd forbidden band width larger than the 1st forbidden band width and having the thickness at which the tunneling of the electrons is possible and material layers 6 having the 3rd forbidden band width smaller than the 2nd forbidden band width and having the thickness at which the tunneled electrons exist. Namely, the material layers 2 constitute the quantum wells of the narrow width and the material layers 6 constitute the quantum wells of the board width. The energy bands thereof are graded by impressing an electric field in the direction parallel with the laminated surfaces, by which the electrons escaped to the material layers 6 are moved at a high speed. The electrons are discharged without stagnating in this way and the absorption and recovery of the light are speeded up.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-212129

(43) 公開日 平成4年(1992)8月3日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35		7246-2K		
1/31		7246-2K		
H 0 1 S 3/18		9170-4M		

審査請求 未請求 請求項の数10(全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平3-26509	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
(22) 出願日	平成3年(1991)2月20日	(72) 発明者	石川 英明 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平2-175846	(74) 代理人	弁理士 北野 好人
(32) 優先日	平2(1990)7月3日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

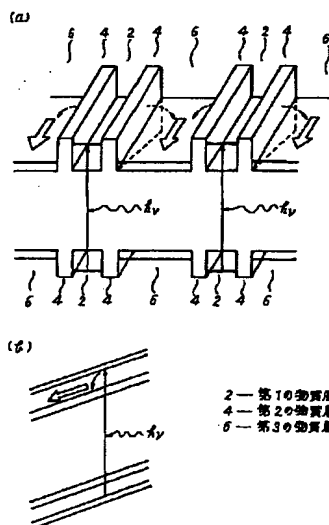
(54) 【発明の名称】 光半導体装置

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、幅の広い量子井戸に電子及び正孔が溜まるのを防止すると共に、幅の狭い量子井戸に電子及び正孔が溜まるのを防止して、光の吸収回復を早くすることができる光半導体装置を提供することを目的とする。

【構成】 第1の禁制帯幅を有し、励起子の存在が可能な第1の厚さを有する第1の物質層と、前記第1の禁制帯幅より大きい第2の禁制帯幅を有し、電子及び正孔のトンネリングが可能な第2の厚さを有する第2の物質層と、前記第2の禁制帯幅より小さい第3の禁制帯幅を有し、前記第1の物質層から前記第2の物質層をトンネリングした電子又は正孔がそれぞれ存在する第3の厚さを有する第3の物質層とが積層された積層体を備え、前記積層体に光を照射することにより前記第1の物質層に励起子を発生させる光半導体装置において、前記積層体に電界をかけるための電界印加手段が設けられているように構成する。

本発明の第1の原理を説明するためのエネルギーバンド図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の禁制帯幅を有し、励起子の存在が可能な第1の厚さを有する第1の物質層と、前記第1の禁制帯幅より大きい第2の禁制帯幅を有し、電子及び正孔のトンネリングが可能な第2の厚さを有する第2の物質層と、前記第2の禁制帯幅より小さい第3の禁制帯幅を有し、前記第1の物質層から前記第2の物質層をトンネリングした電子及び／又は正孔がそれぞれ存在する第3の厚さを有する第3の物質層とが積層された積層体を備え、前記積層体に光を照射することにより前記第1の物質層に励起子を発生させる光半導体装置において、前記積層体に電界をかけるための電界印加手段が設けられていることを特徴とする光半導体装置。

【請求項2】 請求項1記載の光半導体装置において、前記積層体が前記積層体の積層方向に垂直な方向に電極にて挟まれてなる第1の電界印加手段を有し、前記積層体の積層面に対して平行な方向に電界をかけることにより、前記第1の物質層から前記第2の物質層をトンネリングしてそれぞれ反対方向の前記第3の物質層に抜け出した励起子の電子及び正孔を前記第1の電極方向に排出することを特徴とする光半導体装置。

【請求項3】 請求項1又は2記載の光半導体装置において、前記電極が、n型コンタクト領域を介してなるn側電極とp型コンタクト領域を介してなるp側電極とであり、前記n型コンタクト領域に前記p型コンタクト領域より高い電圧を印加することにより、前記積層体の第3の物質層のエネルギーバンドを積層面に対して平行な方向に傾斜させて、前記第3の物質層に存在する励起子の電子及び正孔をそれぞれ前記n型コンタクト領域方向及び前記p型コンタクト領域方向に排出することを特徴とする光半導体装置。

【請求項4】 請求項1記載の光半導体装置において、前記積層体が前記積層体の積層方向に垂直な方向に挟まれてpin接合を形成するp型半導体層とn型半導体層とからなる第1の電界印加手段を有し、pin接合によって生じる内部電界により、前記積層体の第3の物質層のエネルギーバンドを積層面に対して平行な方向に傾斜させて、前記第3の物質層に存在する電子及び正孔をそれぞれ前記n型半導体層方向及び前記p型半導体層方向に排出することを特徴とする光半導体装置。

【請求項5】 請求項1記載の光半導体装置において、前記積層体が前記積層体の積層方向に電極にて挟まれてなる第2の電界印加手段を有し、前記積層体の積層面に対して垂直な方向に電界をかけることにより、励起子の電子及び正孔が前記第1の物質層から前記第2の物質層をトンネリングしてそれぞれ反対方向の前記第3の物質層に容易に抜け出すようにすることを特徴とする光半導体装置。

【請求項6】 請求項5記載の光半導体装置において、前記電極が、n型コンタクト領域を介してなるn側電極

とp型コンタクト領域を介してなるp側電極とであり、前記n型コンタクト領域に前記p型コンタクト領域より高い電圧を印加することにより、前記積層体のエネルギーバンドを積層面に対して垂直な方向に傾斜させて、励起子の電子及び正孔が前記第1の物質層から前記第2の物質層をトンネリングしてそれぞれ反対方向の前記第3の物質層に容易に抜け出すようにすることを特徴とする光半導体装置。

【請求項7】 請求項1記載の光半導体装置において、前記積層体が前記積層体の積層方向に挟まれてpin接合を形成するp型半導体層とn型半導体層とからなる第2の電界印加手段を有し、pin接合によって生じる内部電界により、前記積層体のエネルギーバンドを積層面に対して垂直な方向に傾斜させて、励起子の電子及び正孔が前記第1の物質層から前記第2の物質層をトンネリングしてそれぞれ反対方向の前記第3の物質層に容易に抜け出すようにすることを特徴とする光半導体装置。

【請求項8】 請求項1乃至4のいずれかに記載の光半導体装置において、請求項5記載の前記第2の電界印加手段を有することを特徴とする光半導体装置。

【請求項9】 請求項1乃至8のいずれかに記載の光半導体装置において、前記積層体の第3の物質層中に、前記第3の禁制帯幅より大きい第4の禁制帯幅を有し、前記第3の物質層に存在する電子及び正孔がトンネリングすることのできないバリアを形成する第4の物質層が設けられ、前記第3の物質層によって形成される量子井戸を第1の量子井戸と第2の量子井戸とに分割することを特徴とする光半導体装置。

【請求項10】 請求項1乃至9のいずれかに記載の光半導体装置において、前記積層体の上面及び下面に金属蒸着膜を形成したことを特徴とする光半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は光半導体装置に係り、特に光を照射することにより励起子を発生させて吸収率を変化させる光半導体装置に関する。近年、大容量光通信や高速光コンピュータ等に用いるために、光を光により高速でスイッチングさせる光・光スイッチが注目され、光のオン・オフ動作を超高速で行なうことが要求されている。

## 【0002】

【従来の技術】 光のオン・オフ動作を超高速で行なうために、TBQ(Tunneling Bi-Quantum Well)構造を有する光半導体装置が提案されている(特願昭63-224547号、及びTakeuti et al. JJP28, L1098(1989)参照)。TBQ構造は、幅の狭い量子井戸と幅の広い量子井戸を交互に多数設けたものである。

【0003】 幅の狭い量子井戸の準位に共鳴する波長の光を照射すると、幅の狭い量子井戸に励起子が生成されて光を吸収し難くなり、光の吸収率が低下する。励起子

3

が生成されるとトンネル現象により励起子の電子が幅の広い量子井戸に抜け出すので、再び光を吸収できるようになり吸収率が回復する。このようにTBQ構造の光半導体装置では10 psecのオーダーで光吸収回復が可能であり、高速で光をオンオフすることができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このようにTBQ構造の光半導体装置は、光吸収回復時間が10 psecのオーダーで50%程度までは回復するが、その後は徐々にしか回復せず、その緩和時間はnsecのオーダーになることが報告されている（竹内他、電気学会研究資料、計測研究会、IM-90-15~18参照）。そしてその原因は、質量の重い正孔のトンネル時間が長いと説明されている。

【0005】従って、TBQ構造の光半導体装置をより高速に動作させようとする、トンネリングにより抜け出した電子や正孔が幅の広い量子井戸に溜まって拡散や再結合により消失するのに時間がかかるだけでなく、トンネル時間が長いために狭い量子井戸内に正孔が残ることにより、オンオフ動作のノイズマージンが低下すると共に、高速動作が困難となるとという問題があった。また、励起光パルスを繰り返して入射すると、電子や正孔の溜まりに遮られてトンネルによる高速動作が困難になると共に、狭い量子井戸内に残った正孔に起因する長時間の緩和過程にオンオフ動作が隠れてしまい高速動作が困難になるという問題点があった。

【0006】そこで本発明は、幅の広い量子井戸に電子及び正孔が溜まるのを防止すると共に、幅の狭い量子井戸に電子及び正孔が溜まるのを防止して、光の吸収回復を早くすることができる光半導体装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の原理を図1乃至図6を用いて説明する。図1に本発明の第1の原理を示し、図2に比較のために従来の原理を示す。TBQ構造は、第1の禁制帯幅を有し、励起子の存在が可能な第1の厚さを有する第1の物質層2と、第1の禁制帯幅より大きい第2の禁制帯幅を有し、電子及び正孔のトンネリングが可能な第2の厚さを有する第2の物質層4と、第2の禁制帯幅より小さい第3の禁制帯幅を有し、第1の物質層2から第2の物質層4をトンネリングした電子及び正孔が存在する第3の厚さを有する第3の物質層6とが積層された積層体により構成され、図1(a)及び図2(a)のエネルギーバンド図に示すように、第1の物質層2が幅の狭い量子井戸を構成し、第3の物質層6が幅の広い量子井戸を構成している。

【0008】幅の狭い量子井戸の準位に共鳴する光 $h\nu$ を照射すると、幅の狭い量子井戸で励起子が生成され、第2の物質層4をトンネリングして第3の物質層6に電子及び正孔が抜け出す。従来のTBQ構造の光半導体装

(3)

特開平4-212129

4

置においては、図2に示すように、電子が第3の物質層6に溜まってなかなか消失しない。正孔についても、図示はしないが同様のことがいえる。

【0009】これに対し、本発明の第1の原理によれば、TBQ構造の積層面に対して平行な方向に電界を印加することにより、そのエネルギーバンドを図1(b)に示すように傾斜させ、第3の物質層6に抜け出した電子を矢印方向に高速で移動させる。また正孔も、この矢印方向と反対方向に高速で移動させる。このため電子及び正孔が溜まることなく直ちに排出され、光の吸収回復が迅速になされる。

【0010】次に、図3に本発明の第2の原理を示し、図4に比較のために従来の原理を示す。TBQ構造の光半導体装置において、TBQ構造の積層面に対して垂直な方向に電界を印加すると、図3に示すようにエネルギーバンドが傾斜する。このため、第1の物質層2の幅の狭い量子井戸で生成された励起子の電子と正孔は、井戸内で電界によりそれぞれ反対方向に重心を移動させ、励起子の分解には至らないが束縛エネルギーは実効的に弱くなり、かつ、狭い量子井戸から第3の物質層6の広い量子井戸への波動関数のしみ出しが大きくなる。従って、電子及び正孔は共に幅の狭い量子井戸から第2の物質層4をトンネリングして、それぞれ反対方向の幅の広い量子井戸に容易に抜け出すことができる。また、幅の広い量子井戸に抜け出した電子及び正孔は、電界に引かれて互いに反対方向に移動する。

【0011】これに対して、従来のTBQ構造の光半導体装置においては、図4に示すように、第1の物質層2の幅の狭い量子井戸で生成された励起子の正孔は、その質量が重い、その波動関数の幅の広い量子井戸へのしみ出しが小さく、第2の物質層4をトンネリングして第3の物質層6の幅の広い量子井戸に抜け出すことが容易ではなかった。

【0012】このように、本発明の第2の原理によれば、TBQ構造の積層面に対して垂直な方向に電界を印加することにより、幅の狭い量子井戸で生成された励起子の電子のみならず、質量の重い正孔も、容易に第2の物質層4をトンネリングして幅の広い量子井戸に抜け出すことができ、幅の狭い量子井戸に溜まることがなくなる。従って、吸収回復過程における緩和時間を短縮することができ、オンオフ動作のノイズマージンを向上させると共に、励起光パルスの繰り返し入射に対しても高速応答することが可能となる。

【0013】なお、上記第1及び第2の原理において、TBQ構造の積層面に対して平行又は垂直な方向に電界をかける電界印加手段としては、TBQ構造の積層体の左右又は上下に電極を設けること、積層体を挟んでpin接合を形成するp型半導体層とn型半導体層とを積層体の左右又は上下に設け、外部電界をかけるか或いはまたこのpin接合によって生じる内部電界を用いて

5

もよい。

【0014】次に、図5及び図6に本発明の第3の原理を示す。図5及び図6は、それぞれTBQ構造の積層面に対して垂直な方向に電界をかけていない場合及び電界をかけている場合のエネルギーバンド図である。TBQ構造の光半導体装置において、図5及び図6に示すように、第3の物質層6中に、第3の禁制帯幅より大きい第4の禁制帯幅を有し、第3の物質層6に存在する電子及び正孔がトンネリングすることのできないバリアを形成する第4の物質層8を設ける。この第4の物質層8により、第3の物質層6の幅の広い量子井戸は第1の量子井戸6aと第2の量子井戸6bとに分割される。

【0015】上記図3において、第1の物質層2の幅の狭い量子井戸から第2の物質層4をトンネリングして第3の物質層6の幅の広い量子井戸に抜け出した電子及び正孔が電界によって加速され、隣の幅の狭い量子井戸に至って更にトンネル現象を繰り返し、一種のアバランシェ現象を起こす可能性がある。従って、広い量子井戸に第4の物質層8を設けてバリアを形成することにより、このアバランシェ現象の発生を防止することができ、幅の広い量子井戸に抜け出した電子及び正孔が隣の幅の狭い量子井戸に影響を及ぼすことはない。また、図6に示すように、このバリアの存在により、第3の物質層6の幅の広い量子井戸に抜け出した電子及び正孔は、それぞれ第1の量子井戸6aと第2の量子井戸6bとに分離された形となり、互いに何の影響も及ぼし合わないという理想的な状態が実現される。

【0016】更に、第3の物質層6に形成された第1の量子井戸6aを所定の幅に設定し、電子の第1の物質層2の幅の狭い量子井戸における基底量子準位と第1の量子井戸6aにおける基底量子準位との差がフォノンのエネルギーに近い値になるように制御する。これにより、励起子の電子が幅の狭い量子井戸から第2の物質層4をトンネリングして第1の量子井戸6aに抜け出す際、フォノンを放出して容易に抜け出すことができる。また、正孔については、第2の量子井戸6bを所定の幅に設定し、幅の狭い量子井戸における基底量子準位と第2の量子井戸6bにおけるエネルギーが高い量子準位との差を制御することにより、励起子の正孔が幅の狭い量子井戸から第2の量子井戸6bに抜け出すことを容易にすることができる。

【0017】このように、本発明の第3の原理によれば、第3の物質層6中にバリアを形成する第4の物質層8を設けることにより、第3の物質層6の幅の広い量子井戸に抜け出した電子及び正孔がアバランシェ現象を起こすことを防止すると共に、これらの電子及び正孔が第1の量子井戸6aと第2の量子井戸6bとに分離されて互いに何の影響も及ぼし合わない状態を実現することができる。また、第1の量子井戸6aと第2の量子井戸6bの幅をそれぞれ異なる所定の幅に制御し、電子及び正

6

孔が最も容易に第2の物質層4をトンネリングすることができるようにして、狭い量子井戸に溜まることをなくすることができる。

【0018】

【作用】即ち本発明によれば、幅の広い量子井戸に電子及び正孔が溜まるのを防止すると共に、幅の狭い量子井戸に電子及び正孔が溜まるのを防止して、光の吸収回復を早くすることができ、超高速で動作する光半導体装置を実現できる。更に、励起光パルスの繰返しにも高速応答することができる光半導体装置の実現も可能となる。

【0019】

【実施例】本発明の第1の実施例による光半導体装置を図7を用いて説明する。約100 $\mu$ m厚の半絶縁性GaAs基板10は、信号光及び励起光を照射するために裏面(図7の上面)から中央がくりぬかれている。半絶縁性GaAs基板10の表面(図7の下面)には、AlGaAsバッファ層12とAlGaAs保護層14に挟まれてTBQ構造16が設けられている。これらAlGaAsバッファ層12とTBQ構造16とAlGaAs保護層14とで約5 $\mu$ mの厚さである。

【0020】本実施例のTBQ構造16は、第1の物質層として厚さ45ÅのGaAs層16aと、第2の物質層として厚さ40ÅのAlGaAs層16bと、第3の物質層として厚さ90ÅのGaAs層16cとを用い、第2の物質層16b、第1の物質層16a、第2の物質層16b、第3の物質層16cという構成を120周期積層して形成されている。TBQ構造16は約10 $\mu$ mの幅で約30 $\mu$ mの奥行をしている。

【0021】TBQ構造16の左右に相対する側面には、約10 $\mu$ m幅のn型コンタクト領域18とp型コンタクト領域20がそれぞれ形成されている。n型コンタクト領域18の下面にはAuGe/Au電極層22が形成され、p型コンタクト領域20の下面にはAu/Zn/Au電極層24が形成されている。n型コンタクト領域18にp型コンタクト領域20より高い電圧を印加する。

【0022】なお、TBQ構造16に印加する電圧は、電界強度が約 $1 \times 10^4$  V/cm以下になるようにすることが望ましい。電界強度が強すぎると幅の狭い量子井戸における励起子がイオン化により壊れてしまうからである(Chemla et al., Applied Physics Letter, vol 42, p864 (1983); Miller et al., Physical Review, vol 1 B32, p1043 (1985))。

【0023】また、TBQ構造16の左右にn型コンタクト領域18とp型コンタクト領域20を設けるだけで、p-i-n接合によるエネルギーバンドの曲りがあるため、外部電圧を印加しなくとも内部電界によりTBQ構造16の積層面に対して平行な方向に電界をかけることができ、従って第3の物質層16cに抜け出した電子及び正孔が加速され、吸収回復過程の高速化を行なうこと

7

ができる。

【0024】本実施例の光半導体装置を製造するには、半絶縁性GaAs基板10上に例えばMBE法により、AlGaAsバッファ層12、TBQ構造16、AlGaAs保護層14を順次結晶成長させた。成長温度は600℃である。なお、TBQ構造16はMOCVD結晶成長法によって製造してもよい。n型コンタクト領域18は、パターニングした窒化膜をマスクとしてSiをEB蒸着し、熱拡散でSiを高濃度に注入して形成する。同様に、p型コンタクト領域20は、パターニングした窒化膜をマスクとしてZnをEB蒸着し、熱拡散でZnを高濃度に注入して形成する。

【0025】尚、これら高濃度n型及びp型のコンタクト領域は、集束イオンビームを用いてドーパントを注入した後アニーリングで活性化しても形成できる。半絶縁性GaAs基板10を選択的に化学エッチングし、AlGaAsバッファ層12を部分的に露出させた後、n型コンタクト領域18とp型コンタクト領域20に金属を蒸着してAuGe/Au電極層22とAu/Zn/Au電極層24を形成した。

【0026】本実施例では、YAGレーザで励起したダイ・レーザ光を用いたパンプアンドプローブ方式により光励起する。即ち、AlGaAsバッファ層12上方からほぼ垂直に信号光を入射し、TBQ構造16を透過する透過光の強度を測定する。AlGaAsバッファ層12上方斜めからパルス状の励起光を入射する。信号光も励起光も幅の狭いGaAs層16aの量子井戸の準位に共鳴する周波数 $\nu$ の光である。

【0027】パルス状の励起光が入射すると、GaAs層16aの量子井戸において多数の励起子が発生し、TBQ構造16で光が吸収し難くなり一時的に信号光の透過光が強くなる。発生した励起子の電子はAlGaAs層16bをトンネリングしてGaAs層16cに移動し、正孔はGaAs層16aに残る。TBQ構造16に印加された電界により、GaAs層16c及びGaAs層16aのエネルギーバンドは傾斜しているため、抜け出した電子及び正孔は高速でGaAs層16c及びGaAs層16a中をそれぞれ移動し、n型コンタクト領域18及びp型コンタクト領域20にそれぞれ排出される。このため、一時的に低下したTBQ構造16の吸収率も急速に回復する。

【0028】本実施例による光半導体装置においてパルス状の励起光を入射した場合のTBQ構造の吸収率の変化を図8に示す。同図に示すように、TBQ構造の吸収回復時間は約600fsと1psecより小さく急速に回復していることがわかる。図9に示すように、従来の光半導体装置の場合は吸収率の回復が10psecのオーダーであったので、従来に比べて本実施例では光の吸収回復が1桁以上高速化した。

【0029】次に、本発明の第2の実施例による光半導

(5)

特開平4-212129

8

体装置を図10に示す。図7の光半導体装置と同一の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。本実施例は、AlGaAsバッファ層12上面とAlGaAs保護層14下面に、例えばAl等の金属の金属薄膜26、28をそれぞれ200Åの厚さに形成して半透光性の反射膜を設け、ファブリペロエタロンとしたものである。

【0030】本実施例によればTBQ構造を含む受光部をファブリペロエタロンにしたので、S/N比が向上した。次に、本発明の第3の実施例による光半導体装置を図11に示す。本実施例は上記第1及び第2の実施例と半導体材料が異なる。半絶縁性InP基板30上にInPバッファ層32とInP保護層34に挟まれてTBQ構造36が設けられている。TBQ構造36は、第1の物質層として44ÅのInGaAs層36aと、第2の物質層として41ÅのInP層36bと、第3の物質層として88ÅのInGaAs層36cとを用い、第2の物質層36b、第1の物質層36a、第2の物質層36b、第3の物質層36cという構成を120周期積層して形成されている。

【0031】TBQ構造36の相対する側面には、n型コンタクト領域38とp型コンタクト領域40がそれぞれ形成されている。n型コンタクト領域38はSiあるいはSnを拡散して形成し、p型コンタクト領域40はZnを拡散して形成する。これらのコンタクト領域は、集束イオンビームを用いてドーパントを注入した後アニーリングで活性化することによっても形成できる。n型コンタクト領域38の上面にはAuGe/Au電極層42が形成され、p型コンタクト領域40の上面にはAu/Zn/Au電極層44が形成されている。

【0032】n型コンタクト領域38にp型コンタクト領域40より高い電圧を印加してTBQ構造36のInGaAs層36c及びInGaAs層36aのエネルギーバンドを傾斜させて、電子及び正孔を高速に移動させて光の吸収回復の高速化を図っている。本実施例ではInP基板30が透明であるため、第1及び第2の実施例のように基板の中央部をエッチング除去する必要がない。

【0033】次に、本発明の第4の実施例による光半導体装置を図12に示す。本実施例は、TBQ構造を上下に挟むn型コンタクト領域とp型コンタクト領域とを介してそれぞれ電極層を設けると共に、TBQ構造16の第3の物質層16c中にバリアを形成する第4の物質層を設けたものである。即ち、n型GaAs基板50及びその上に形成されたn型GaAsバッファ層52は、信号光及び励起光を照射するために中央がくりぬかれている。n型GaAsバッファ層52の表面(図12の下面)には、N型AlGaAs層54とP型AlGaAs層56に上下を挟まれてTBQ構造58が設けられている。

【0034】本実施例のTBQ構造58は、第1の物質



9

層として厚さ45ÅのGaAs層58bと、第2の物質層として厚さ40ÅのAlGaAs層58bと、第3の物質層として厚さ90ÅのGaAs層58c及び厚さ100ÅのGaAs層58dと、第4の物質層として厚さ100ÅのAlGaAs層58eとを用い、第2の物質層58b、第1の物質層58a、第2の物質層58b、第3の物質層58c、第4の物質層58e、第3の物質層58dという構成を120周期積層して形成されている。

【0035】なお、このとき、第4の物質層としてのAlGaAs層58eは、第2の物質層としてのAlGaAs層58bと同じ組成、例えば $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.5$ )とし、その厚さ100Åとしたが、これ以上の厚さを有していてもよい。また、厚さを厚くしてバリアの幅を広くする代わりに、例えば組成比 $x$ を大きくしてバリアの高さを高くしてもよい。

【0036】また、n型GaAs基板50の上にはAuGe/Au電極層60が形成され、P型AlGaAs層56の下にはAu/Zn/Au電極層62が形成されている。これらのAuGe/Au電極層60、Au/Zn/Au電極層62に外部電界を印加し、N型AlGaAs層54をP型AlGaAs層56よりも高い電圧にしてTBQ構造58のエネルギーバンドをその積層面に垂直方向に傾斜させて、電子及び正孔のトンネル時間を短縮して光の吸収回復の高速化を図っている。

【0037】なお、TBQ構造58の下にN型AlGaAs層54とP型AlGaAs層56とを設けるだけで、pin接合によるエネルギーバンドの曲りがあるため、外部電圧を印加しなくとも内部電界によりTBQ構造58の積層面に垂直方向の電界をかけることができ、従って電子のみならず質量の重い正孔も第2の物質層58bをトンネリングすることが容易になり、吸収回復過程の高速化を行なうことができる。勿論、AuGe/Au電極層60及びAu/Zn/Au電極層62に外部電界を印加してもよいし、この場合の方が電界強度を所望の値に制御することができるという利点がある。

【0038】本実施例の光半導体装置を製造するには、n型GaAs基板50上に例えばMBE法により、n型GaAsバッファ層52、N型AlGaAs層54、TBQ構造58、P型AlGaAs層56を順次結晶成長させた。成長温度は600℃である。なお、TBQ構造58はMOCVD結晶成長法によって製造してもよい。また、N型AlGaAs層54のドーパントにはSiを用い、P型AlGaAs層56のドーパントにはBeを用いた。更に、受光部のn型GaAs基板50及びn型GaAsバッファ層52を選択的に化学エッチングし、N型AlGaAs層54を部分的に露出させた後、n型GaAs基板50上面とP型AlGaAs層56下面にそれぞれ金属蒸着法を用いてAuGe/Au電極層60とAu/Zn/Au電極層62を形成した。

(6)

特開平4-212129

10

【0039】本実施例でも、上記第1の実施例と同様にパンプアンドプローブ方式で光励起する。即ち、幅の狭いGaAs層58aの量子井戸の準位に共鳴する周波数 $\nu$ の信号光をN型AlGaAs層54上方からほぼ垂直に入射する。そしてN型AlGaAs層54上方斜めから同じ周波数 $\nu$ のパルス状の励起光を入射すると、GaAs層58aの量子井戸において多数の励起子が発生し、TBQ構造58で光が吸収し難くなり一時的に信号光の透過光が強くなる。このとき、TBQ構造58の積層面に垂直な方向に印加された電界により、発生した励起子の電子のみならず質量の重い正孔もAlGaAs層58bを容易にトンネリングして、それぞれ反対方向のGaAs層58c、58dの量子井戸に抜け出す。そしてこれらの電子及び正孔は、電界に引かれて互いに反対方向に移動する。

【0040】また、GaAs層58cとGaAs層58dとの間にはバリアを形成するAlGaAs層58eが設けられているため、GaAs層58c、58dに抜け出した電子及び正孔が電界によって加速されても、アバランシェ現象を起こして隣のGaAs層58aの量子井戸に影響を及ぼすことはない。そして電子及び正孔はそれぞれGaAs層58c、58dの量子井戸に分離され、互いに何の影響も及ぼし合わない状態が実現される。

【0041】こうして、一時的に低下したTBQ構造58の吸収率も急速に回復する。本実施例による光半導体装置においてパルス状の励起光を入射した場合のTBQ構造58に印加する電界は約 $1 \times 10^4$  V/cmである。同図に示すように、TBQ構造58の吸収は約20psの緩和時間で完全に元の値に戻っていることがわかる。従って、図14に示すように従来の光半導体装置の場合に吸収が完全に元の値に戻るのにnsecのオーダーの緩和時間を要していたのと比較すると、2桁近く改善されている。

【0042】次に、本発明の第5の実施例による光半導体装置を図15に示す。図12の光半導体装置と同一の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。本実施例は、N型AlGaAs層54上面とP型AlGaAs層56下面に、例えばAl等の金属の金属薄膜64、66をそれぞれ200Åの厚さに形成して半透光性の反射膜を設け、ファブリペロエタロンとしたものである。

【0043】従って、上記第2の実施例と同様に、本実施例によればTBQ構造を含む受光部をファブリペロエタロンにしたので、S/N比が向上した。次に、本発明の第6の実施例による光半導体装置を図16に示す。本実施例は上記第4及び第5の実施例と半導体材料が異なる。n型InP基板70上にn型InP層72とp型InP層74に挟まれてTBQ構造76が設けられている。TBQ構造76は、第1の物質層として厚さ44Å

11

のInGaAs層76aと、第2の物質層として厚さ41ÅのInP層76bと、第3の物質層として厚さ88ÅのInGaAs層76c及び厚さ100ÅのInGaAs層76dと、第4の物質層として厚さ100ÅのInP層76eとを用い、第2の物質層76b、第1の物質層76a、第2の物質層76b、第3の物質層76c、第4の物質層76e、第3の物質層76dという構成を120周期積層して形成されている。

【0044】また、n型InP基板70の下にはAuGe/Au電極層78が形成され、p型InP層74の10 上面にはAu/Zn/Au電極層80が形成されている。これらのAuGe/Au電極層78、Au/Zn/Au電極層80に外部電界を印加し、n型InP層72をp型InP層74よりも高い電圧にしてTBQ構造76のエネルギーバンドをその積層面に垂直方向に傾斜させて、電子及び正孔のトンネル時間を短縮して光の吸収回復の高速化を図っている。

【0045】なお、TBQ構造76の上下にn型InP層72とp型InP層74とを設けるだけで、pin接20 合による内部電界を利用してもよいのは、上記第4の実施例の場合について述べたことと同様である。本実施例ではn型InP基板70が透明であるため、上記第4及び第5の実施例のように基板の中央部をエッチング除去する必要がないのは、上記第3の実施例の場合と同様である。

【0046】次に、本発明の第7の実施例による光半導体装置を図17に示す。本実施例は、図7に示す第1の実施例と図12に示す第4の実施例とを組み合わせ、TBQ構造の積層面に対して平行及び垂直な方向に電界をかけるようにしたものである。従って、図7及び図12 30 の光半導体装置と同一の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

【0047】ここで、TBQ構造58とN型AlGaAs層54及びP型AlGaAs層56との間にそれぞれI型AlGaAs層82、84が設けられているのは、これらN型AlGaAs層54及びP型AlGaAs層56とTBQ構造58の左右に形成されたn型コンタクト領域18及びp型コンタクト領域20とを電氣的に分離するためである。従って、図17に示されるように、TBQ構造58上にのみP型AlGaAs層56が形成される場合には、I型AlGaAs層84を設けなくともよい。

【0048】本実施例の光半導体装置を製造するには、n型GaAs基板50上に例えばMBE法により、n型GaAsバッファ層52、N型AlGaAs層54、I型AlGaAs層82、TBQ構造58、I型AlGaAs層84、P型AlGaAs層56を順次結晶成長させた。成長温度は600℃である。続いて、P型AlGaAs層56上に所定のパターンマスクを形成し、フッ酸エッチング液を用いてP型AlGaAs層56及び 50

(7)

特開平4-212129

12

I型AlGaAs層84を選択的にエッチングする。このエッチングはI型AlGaAs層84の途中まで行なえばよく、従ってI型AlGaAs層84の存在によりTBQ構造58までエッチングすることが防止される。

【0049】また、n型コンタクト領域18及びp型コンタクト領域20の形成は上記第1の実施例において、受光部のn型GaAs基板50及びn型GaAsバッファ層52の選択的な化学エッチングは上記第4の実施例において、それぞれ述べたものと同様である。更に、AuGe/Au電極層22とAu/Zn/Au電極層24の形成及びAuGe/Au電極層60とAu/Zn/Au電極層62の形成も、それぞれ上記第1及び第4の実施例において述べたものと同様である。

【0050】尚、他の製造方法として、n型GaAs基板50上にn型GaAsバッファ層52、N型AlGaAs層54、I型AlGaAs層82、TBQ構造58を順次成長させた後、集束イオンビームを用いてドーパントを空間的に分離して注入し、更にI型AlGaAs層84、P型AlGaAs層56を順次成長させてからアニーリングで注入したドーパントを活性化してn型コンタクト領域18及びp型コンタクト領域20を形成し、その後、P型AlGaAs層56及びI型AlGaAs層84を選択的にエッチングしてn型コンタクト領域18及びp型コンタクト領域20の表面を露出してもよい。

【0051】本実施例によれば、TBQ構造58の積層面に対して平行及び垂直な方向に電界を同時に印加することができるため、上記第1及び第4の実施例の効果を相乗した効果を発揮することができる。次に、本発明の第8の実施例による光半導体装置を図18に示す。本実施例は、図11に示す第3の実施例と図16に示す第6の実施例とを組み合わせ、TBQ構造の積層面に対して平行及び垂直な方向に電界をかけるようにしたものである。従って、図11及び図16の光半導体装置と同一の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

【0052】ここで、TBQ構造76とn型InP層72及びp型InP層74との間にそれぞれI型InP層86、88が設けられているのは、上記第7の実施例の場合と同様に、n型InP層72及びp型InP層74とn型コンタクト領域38及びp型コンタクト領域40とを電氣的に分離するためである。また、本実施例の光半導体装置の製造方法も、半導体材料が異なるだけで上記第7の実施例の場合とほぼ同様であるが、p型InP層74及びI型InP層88の選択的エッチングにおいては、プロム・メタノールを用いた。

【0053】本実施例によれば、TBQ構造76の積層面に対して平行及び垂直な方向に電界を同時に印加することができるため、上記第3及び第6の実施例の効果を相乗した効果を発揮することができる。本発明は上記実施例に限らず種々の変形が可能である。例えば、上記第

13

3、第6、第7又は第8の実施例に、上記第2又は第5の実施例のような金属薄膜を形成してファブリペロエタロンとしてもよい。

【0054】

【発明の効果】以上の通り、本発明によれば、幅の広い量子井戸に電子及び正孔が溜まるのを防止すると共に、幅の狭い量子井戸に電子及び正孔が溜まるのを防止して、光の吸収回復を早くすることができ、超高速で動作する光半導体装置を実現できる。また、励起光パルスの繰返しにも高速応答することができる光半導体装置の実現も可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図2】従来の原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図3】本発明の第2の原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図4】従来の原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図5】本発明の第3の原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図6】本発明の第3の原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図7】本発明の第1の実施例による光半導体装置を示す図である。

【図8】図7の光半導体装置の吸収率変化を示すグラフである。

【図9】従来の光半導体装置の吸収率変化を示すグラフである。

【図10】本発明の第2の実施例による光半導体装置を示す図である。

【図11】本発明の第3の実施例による光半導体装置を示す図である。

【図12】本発明の第4の実施例による光半導体装置を示す図である。

【図13】図12の光半導体装置の吸収率変化を示すグラフである。

【図14】従来の光半導体装置の吸収率変化を示すグラフである。

【図15】本発明の第5の実施例による光半導体装置を示す図である。

【図16】本発明の第6の実施例による光半導体装置を示す図である。

【図17】本発明の第7の実施例による光半導体装置を示す図である。

【図18】本発明の第8の実施例による光半導体装置を示す図である。

【符号の説明】

2…第1の物質層

(8)

特開平4-212129

14

4…第2の物質層

6…第3の物質層

8…第4の物質層

10…半絶縁性GaAs基板

12…AlGaAsバッファ層

14…AlGaAs保護層

16…TBQ構造

16a…GaAs層

16b…AlGaAs層

16c…GaAs層

18…n型コンタクト領域

20…p型コンタクト領域

22…AuGe/Au電極層

24…Au/Zn/Au電極層

26、28…金属薄膜

30…半絶縁性InP基板

32…InPバッファ層

34…InP保護層

36…TBQ構造

20 36a…InGaAs層

36b…InP層

36c…InGaAs層

38…n型コンタクト領域

40…p型コンタクト領域

42…AuGe/Au電極層

44…Au/Zn/Au電極層

50…n型GaAs基板

52…n型GaAsバッファ層

54…N型AlGaAs層

30 56…P型AlGaAs層

58…TBQ構造

58a…GaAs層

58b…AlGaAs層

58c…GaAs層

58d…GaAs層

58e…AlGaAs層

60…AuGe/Au電極層

62…Au/Zn/Au電極層

64、66…金属薄膜

40 70…n型InP基板

72…n型InP層

74…p型InP層

76…TBQ構造

76a…InGaAs層

76b…InP層

76c…InGaAs層

76d…InGaAs層

76e…InP層

78…AuGe/Au電極層

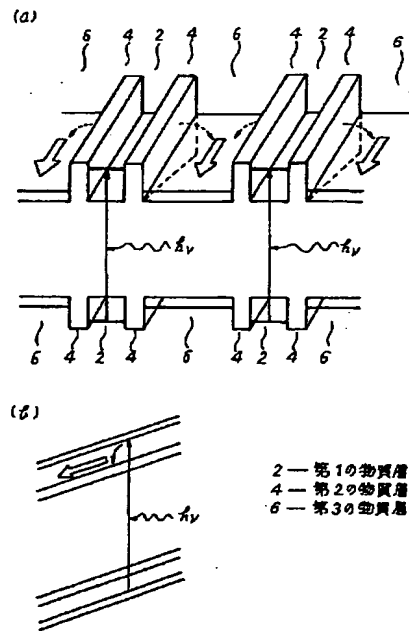
50 80…Au/Zn/Au電極層

15

82、84…Ⅰ型AlGaAs層

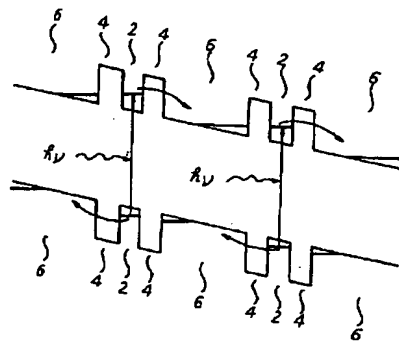
【図1】

本発明の第1の原理を説明するためのエネルギーバンド図



【図3】

本発明の第2の原理を説明するためのエネルギーバンド図



(9)

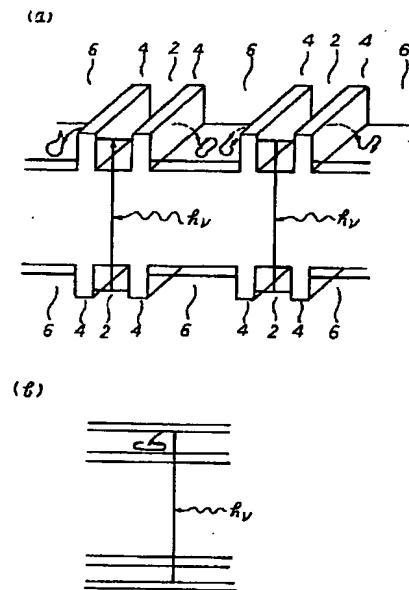
特開平4-212129

16

86、88…Ⅰ型InP層

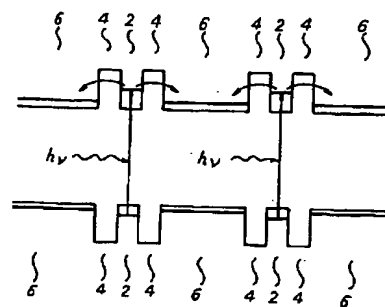
【図2】

従来の原理を説明するためのエネルギーバンド図



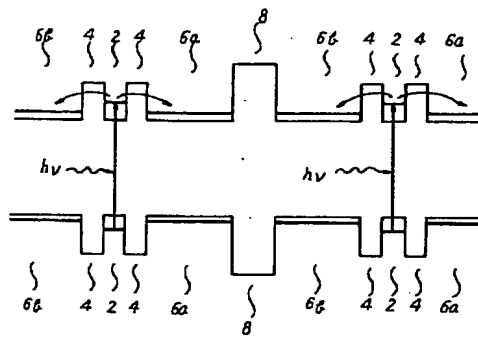
【図4】

従来の原理を説明するためのエネルギーバンド図



【図5】

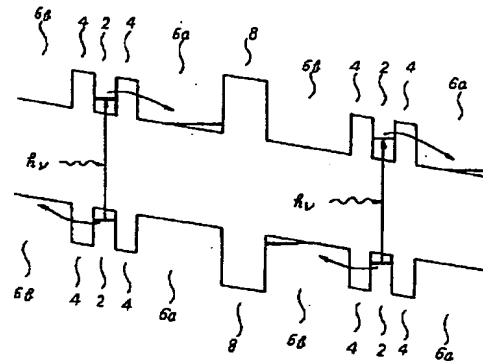
本発明の第3の原理を説明するためのエネルギーバンド図



6a - 第1の量子井戸  
 6b - 第2の量子井戸  
 8 - 第4の障壁層

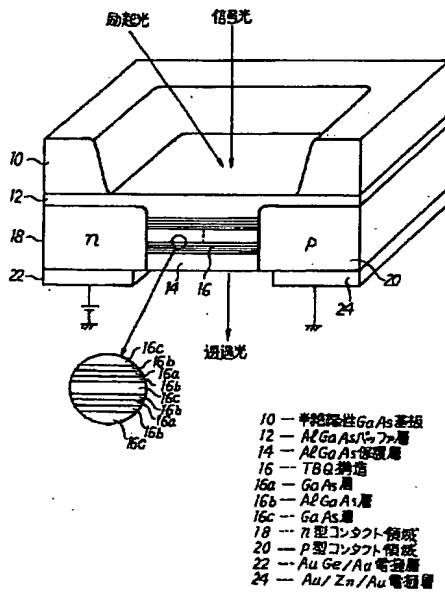
【図6】

本発明の第3の原理を説明するためのエネルギーバンド図



【図7】

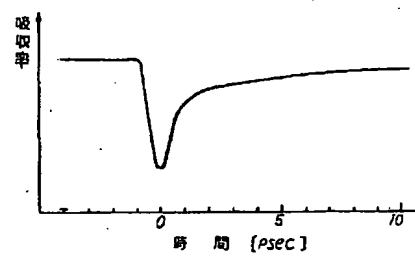
本発明の第1の実施例による光半導体装置を示す図



10 - 半絶縁性GaAs基板  
 12 - AlGaAsバッファ層  
 14 - AlGaAs障壁層  
 16 - TBO構造  
 16a - GaAs層  
 16b - AlGaAs層  
 16c - GaAs層  
 16d - AlGaAs層  
 16e - GaAs層  
 16f - AlGaAs層  
 16g - GaAs層  
 18 - n型コンタクト領域  
 20 - p型コンタクト領域  
 22 - AuGe/Au電極層  
 24 - Au/Zn/Au電極層

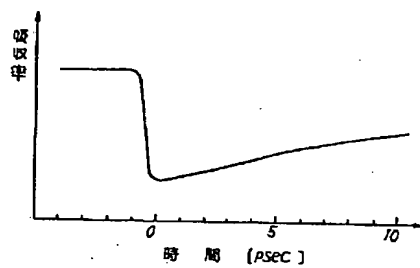
【図8】

図7の光半導体装置の吸収率変化を示すグラフ



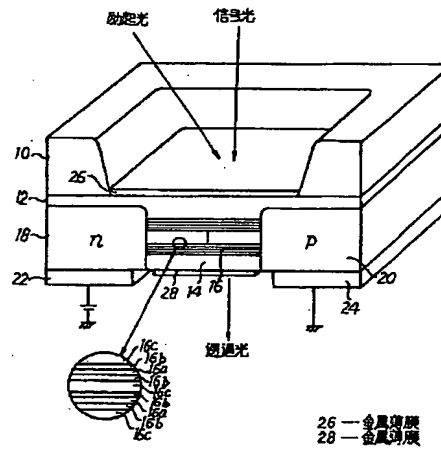
【図9】

従来の光半導体装置の吸収率変化を示すグラフ



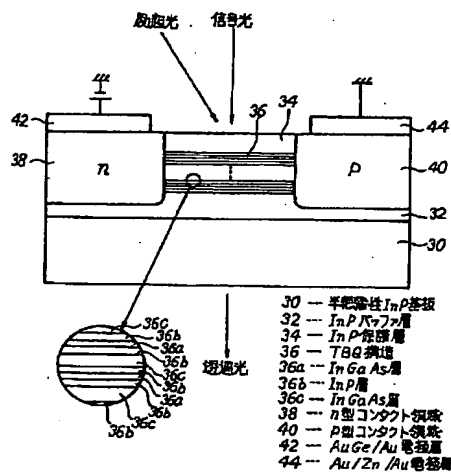
【図10】

本発明の第2の実施例による光半導体装置を示す図



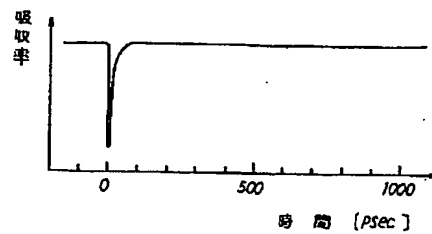
【図11】

本発明の第3の実施例による光半導体装置を示す図



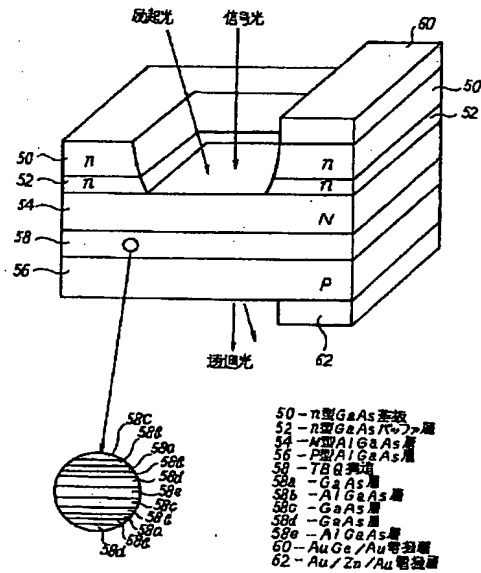
【図13】

図12の光半導体装置の吸収率変化を示すグラフ



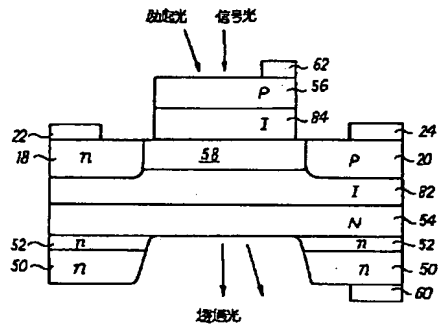
【図12】

本発明の第4の実施例による光半導体装置を示す図



【図17】

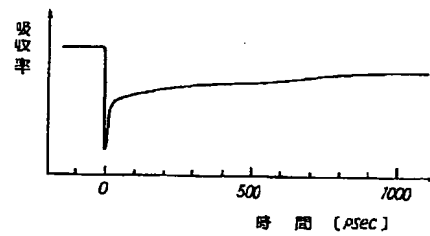
本発明の第7の実施例による光半導体装置を示す図



82, 84 - I型AlGaAs層

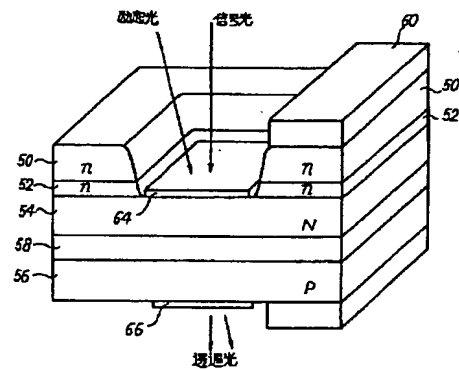
【図14】

従来光半導体装置の吸収率変化を示すグラフ



【図15】

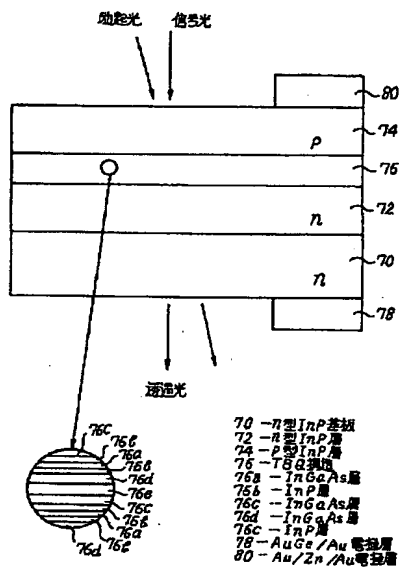
本発明の第5の実施例による光半導体装置を示す図



64, 66 - 金属薄膜

【図16】

本発明の第6の実施例による光半導体装置を示す図



【図18】

本発明の第8の実施例による光半導体装置を示す図

